

鋼橋の耐火設計における部分安全係数に関する一検討

大阪工業大学大学院 学生会員 ○大岩 司
 大阪工業大学 正会員 大山 理
 大阪工業大学 フェロー 栗田 章光

1. 目的

近年、国内・国外を問わず、写真-1に示すとおり、不審火や走行車両の横転・炎上などが原因で、橋梁の火災事故が頻発しており、今後、主要幹線路線に架かる橋梁などを中心に、耐火設計を施す必要があると考えられる。

ここで、鋼構造物の耐火設計に関する規定は、Eurocode(欧州共通設計規準)で示されるものが著明であるが、その対象は、目下のところ建築物であり、鋼橋に対するものは見られない。一方、アメリカの連邦州統一規準である AASHTO でも、鋼橋に対する耐火設計は、文献 1)以外にも多数の火災事故例が見られるにもかかわらず、未だ、規定されていない。もちろん、わが国にも、明確な耐火設計規準は存在せず、土木学会の鋼・合成構造標準示方書などでは、精神規定が示されるにとどまっているのが現状である。

このような背景のもとで、本文は、AASHTO の荷重抵抗係数設計(LRFD)法に基づいた耐火設計における部分安全係数に関する一検討を行った結果について報告する。なお、部分安全係数の各値の評価式を誘導するにあたっては、表-1 に示す設計法の考え方と分類の内、線形近似を用いた古典的な信頼性理論(レベル II)を適用している。

2. 荷重抵抗係数設計(LRFD)法における設計様式

橋梁直下で火災が起きた際、橋梁上を通行する車両がないことを想定すると、荷重作用として、死荷重と温度荷重が考えられる。したがって、ここでは、これら 2つの荷重作用のみを考慮する。

式(1)に、AASHTO の LRFD 法での終局限界状態における部材耐荷力の照査式を示す。

$$\phi R \geq \gamma_D \cdot D + \gamma_T \cdot T \tag{1}$$

ここに、 R ：部材の抵抗力、 D ：死荷重作用、 T ：温度作用、 ϕ ：抵抗係数、 γ_D および γ_T ：死荷重および温度荷重(～1200℃)、それぞれに対する荷重係数を示している。

3. 信頼性指標 β 値

文献 2)によると、AASHTO での終局限界状態に対する β_A 値は、過去の設計・施工例でのデータをもとに、 $\beta_{A,U} = 3.5$ を採用している。一方、Eurocode では、終局限界状態および使用限界状態に対して、それぞれ、 $\beta_{EC,U} = 4.75$ および $\beta_{EC,S} = 3.09$ を採用している³⁾。

4. 部分安全係数に対する数値計算例

線形化近似を用いた信頼性理論によると、部分安全係数(荷重係数、抵抗係数)は、次式で与えられる。



写真-1 アメリカ(デトロイト)における鋼橋の火災事例¹⁾

表-1 設計法の考えと分類

レベル	安全性照査式	基準パラメーター
レベル III	$p \leq p_f$	破壊確率
レベル II	$\beta \geq \beta_a$	信頼性指標
レベル I	$R_d \geq S_d$	断面力

キーワード 火災、耐火設計、部分安全係数、信頼性指標

連絡先 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5 丁目 16 番 1 号 大阪工業大学大学院 TEL : (06)6954-3315

$$\gamma_D = \frac{1+0.75 \alpha' \beta \delta_D}{1+k \delta_D} \quad (2)$$

$$\gamma_T = \frac{1+0.75 \alpha' \beta \delta_T}{1+k \delta_T} \quad (3)$$

$$\gamma_R = \frac{1-k \delta_R}{1-0.75 \beta \delta_R} \quad (\phi_R = \frac{1}{\gamma_R}) \quad (4)$$

ここに、 δ_D ：死荷重に対する変動係数、 δ_T ：温度荷重に対する変動係数、 δ_R ：耐力の評価精度に関する変動係数、 β ：信頼性指標、 α' ：線形化近似における係数(=0.75を用いる)、 k ：平均値を特性値に変換するための係数を示しており、超過確率を5%に設定した場合、 $k=1.645$ となる。

今、一例として、 $\delta_D=0.10$ 、 $\delta_T=0.35$ 、 $\delta_R=0.05$ とし、信頼性指標 β 値を変化させた場合の荷重および抵抗係数の値を図-1に示す。同図より、 β 値の値が大きくなるほど、死荷重および温度荷重に対する荷重係数の値は大きく、抵抗係数の値は小さくなることわかる。また、温度荷重に対する変動係数が死荷重より大きいため、 β 値が大きくなるほど、荷重係数の増加率も大きくなっている。

5. 信頼性指標に対する数値計算例

支間長によって荷重比が変化するため、その変化が β 値に及ぼす影響を把握しておく必要がある。

式(5)に、荷重比、変動係数ならびに中央安全率 $v = \mu_R/\mu_S$ より算出される β 値を示す。

$$\beta = \frac{\mu_R/\mu_S - 1}{\sqrt{(\mu_R/\mu_S)^2 \delta_R^2 + (\mu_D/\mu_S)^2 \delta_D^2 + (\mu_T/\mu_S)^2 \delta_T^2}} \quad (5)$$

ここに、 μ_R 、 μ_S 、 μ_D ならびに μ_T は、それぞれ、部材の抵抗力、荷重作用、死荷重ならびに温度荷重の平均値を示している。

一例として、荷重作用に占める死荷重の荷重比 μ_D/μ_S ($\mu_D/\mu_S + \mu_T/\mu_S = 1.0$)および中央安全率 v をパラメータとし、 $\delta_R=0.10$ 、 $\delta_D=0.05$ 、 $\delta_T=0.30$ とした場合の β 値を図-2に示す。図-2より、変動係数の小さい死荷重作用の荷重比が大きくなる、逆に言うと、変動係数の大きい温度作用の荷重比が小さくなるほど、 β 値は増加する。また、中央安全率の値が大きくなるほど、当然のことながら、 β の値は大きくなることわかる。

6. まとめ

本文では、AASHTOのLRFD法に基づき、耐火設計における部分安全係数に関する一検討を行った。今後、特に、温度荷重の平均値、変動係数に関して検討を行い、鋼橋に対する耐火設計法を構築する予定である。

【参考文献】

- 1) 柳澤則文, 今川雄亮, Marcus P. RUTNER, 大山 理, 栗田章光: アメリカ・9マイル跨道橋の火災による落橋要因の一解析, 橋梁と基礎 第48巻6月号 pp.26~30, (株)建設図書, 2014年6月.
- 2) 本城勇介, 七澤利明: 米国道路橋設計基準における荷重抵抗係数設計法(LRFD)の策定経緯と評価, 橋梁と基礎 2014 vol.48 No.12, pp.26~31, 2014年12月.
- 3) I. Mangerig: DIN-Standard Report 101 Actions on Bridge Constructions Basis of Structural Design, Proceeding of 5th Japanese-German Joint Symposium on Steel and Composite Bridges, September 2003.

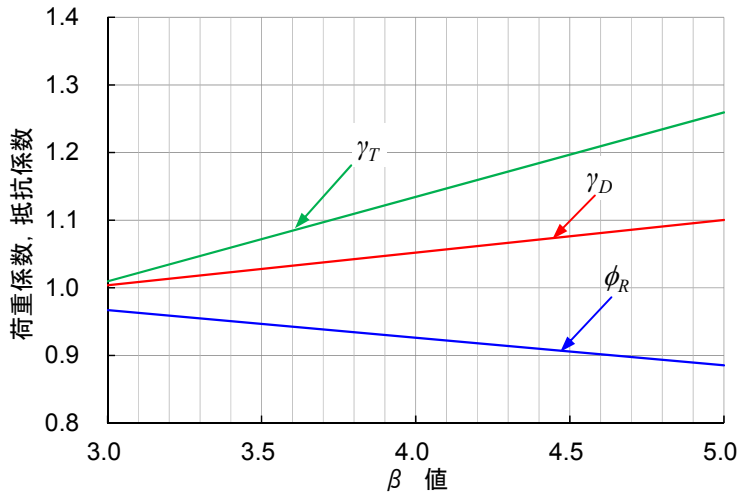


図-1 β 値を変化させた場合の荷重および抵抗係数値

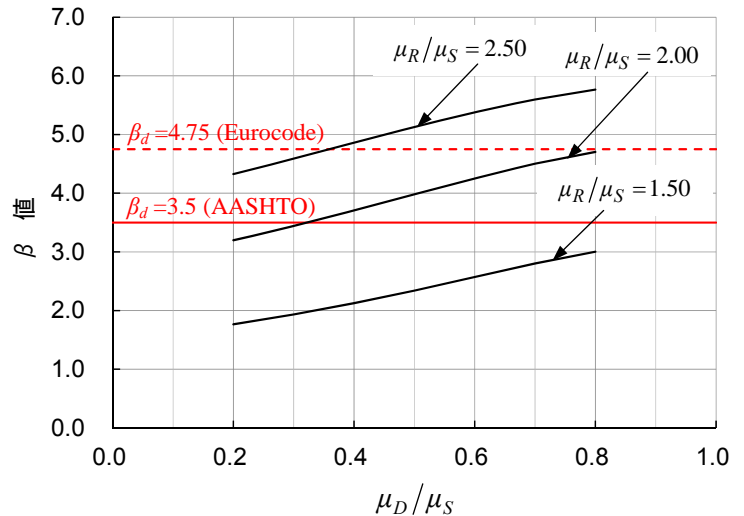


図-2 μ_D/μ_S と β 値の関係